

APPARATUS FOR DIAGNOSING BEARING

Publication number: JP2002022617

Publication date: 2002-01-23

Inventor: MASUKATA SHINGO; NISHIDA HIROYUKI

Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC CORP

Classification:

- international: G01H17/00; G01M13/04; F16C19/52; G01H17/00;
G01M13/00; F16C19/00; (IPC1-7): F16C19/52;
G01M13/04; G01H17/00

- european:

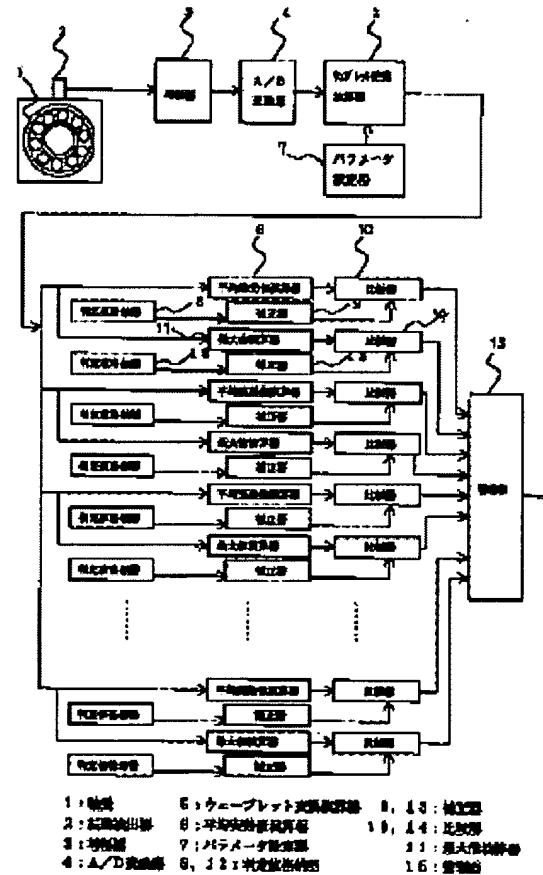
Application number: JP20000204168 20000705

Priority number(s): JP20000204168 20000705

Report a data error here

Abstract of JP2002022617

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problem of a conventional apparatus for diagnosing a bearing where a bearing is diagnosed by detecting a peak generated at the time of abnormality that a small peak is drowned out by noise and decision of abnormality may become difficult because the features can not be found. SOLUTION: Vibration of a bearing 1 under rotation is detected by a vibration detector 2 and converted into a digital signal through an amplifier 3 and an A/D converter 4. Subsequently, it is converted by a wavelet converter 5 into a time series signal at each frequency band from which an average effective value and a maximum value are extracted and compared with a decision value corrected based on the type and the used year of a bearing inputted by a parameter setter 7. If the bearing is abnormal, an alarm is delivered from an alarm 15.



REST AVAILABLE COPY

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(51) Int.Cl.⁷
 G 0 1 M 13/04
 G 0 1 H 17/00
 // F 1 6 C 19/52

識別記号

F I
 G 0 1 M 13/04
 G 0 1 H 17/00
 F 1 6 C 19/52

テ-マ-ト⁷(参考)
 2 G 0 2 4
 A 2 G 0 6 4
 3 J 1 0 1

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 16 頁)

(21)出願番号 特願2000-204168(P2000-204168)
 (22)出願日 平成12年7月5日(2000.7.5)

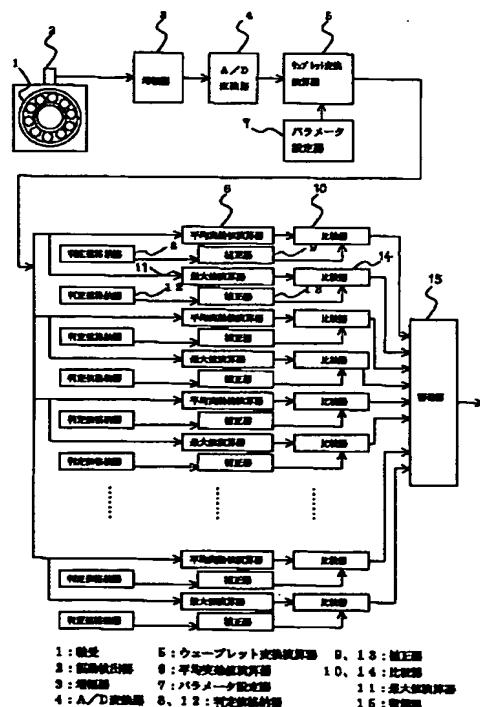
(71)出願人 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
 (72)発明者 益形 伸吾
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
 (72)発明者 西田 博幸
 東京都千代田区大手町二丁目6番2号 三菱電機エンジニアリング株式会社内
 (74)代理人 100073759
 弁理士 大岩 増雄

(54)【発明の名称】 軸受診断装置

(57)【要約】

【課題】 従来の軸受診断装置は、異常時に発生するピークを検出することで行っているため、小さなピークが発生した場合は、ノイズ成分などにかき消されて特徴を見いだすことができず、異常の判定が困難となる問題があった。

【解決手段】 回転中の軸受1の振動を振動検出器2によって検出し、増幅器3及びA/D変換器4を通じてデジタル信号に変換した後、ウェーブレット変換演算器5によって周波数帯域毎の時系列信号に変換し、この時系列信号から平均実効値及び最大値を抽出して、予め設定され、パラメータ設定器7によって入力された軸受の型式及び使用年数に基づき補正を行った判定値と、比較することにより、異常を判定して警報器15から出力するようにしている。



(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回転中の軸受の振動を検出する振動検出手段、この振動検出手段によって検出された検出信号を周波数帯域毎の時系列信号に変換する変換手段、この変換手段によって変換された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値を抽出する抽出手段、この抽出手段によって抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値をそれぞれ予め設定された判定値と比較する比較手段を備えたことを特徴とする軸受診断装置。

【請求項 2】 変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号をウェーブレット変換するウェーブレット変換手段であることを特徴とする請求項 1 記載の軸受診断装置。

【請求項 3】 変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号を短時間高速フーリエ変換する短時間高速フーリエ変換手段であることを特徴とする請求項 1 記載の軸受診断装置。

【請求項 4】 変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号をウィグナー分布関数によって変換を行うウィグナー分布関数変換手段であることを特徴とする請求項 1 記載の軸受診断装置。

【請求項 5】 変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号の所定の周波数帯域の周波数成分を、それぞれ通過させる複数の帯域フィルタを用いて構成されたことを特徴とする請求項 1 記載の軸受診断装置。

【請求項 6】 軸受の型式、使用年数を入力する入力手段、この入力手段によって入力された軸受の型式、使用年数により、比較手段への入力を補正する補正手段を備えたことを特徴とする請求項 1 ～請求項 5 のいずれか一項記載の軸受診断装置。

【請求項 7】 判定値は、正常な軸受を用いて、抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値に基づき設定されていることを特徴とする請求項 1 ～請求項 6 のいずれか一項記載の軸受診断装置。

【請求項 8】 判定値は、損傷を有する軸受を用いて、抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値に基づき設定されていることを特徴とする請求項 1 ～請求項 6 のいずれか一項記載の軸受診断装置。

【請求項 9】 時系列信号のピーク波形の周期に基づき、軸受の損傷位置を特定する損傷位置特定手段を備えたことを特徴とする請求項 1 ～請求項 8 のいずれか一項記載の軸受診断装置。

【請求項 10】 平均実効値と比較される判定値は、軸受の寿命を判定するように設定されていることを特徴とする請求項 1 ～請求項 9 のいずれか一項記載の軸受診断装置。

【請求項 11】 振動が検出される軸受は、ラジアル方向に荷重が加えられていることを特徴とする請求項 1 ～請求項 10 のいずれか一項記載の軸受診断装置。

【請求項 12】 振動検出手段は、磁石によって軸受箱に取付けられていることを特徴とする請求項 1 ～請求項 11 のいずれか一項記載の軸受診断装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、例えばエレベータの巻上げ機などの各種機器や設備に使用される軸受の剥離や割れ、内部傷などの検査に用いられる軸受診断装置に関し、特に判定の信頼性を向上させた軸受診断装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図 10 は、例えば特開昭 61-265533 号公報に示された従来の軸受診断装置を示す構成図であり、回転体の異常検出装置を示す。図 10 において、21 はマイク、22 は振動センサ、23 は回転数センサ、24 はアンプ、25 はサンプリングメモリ部である。サンプリングメモリ部 25 は、ローパスフィルタなど互いに周波数レンジが異なる m 個 ($m \geq 2$) のアナログフィルタ 26-1 ～ 26-m と、各アナログフィルタ 26-1 ～ 26-m の出力を互いに独立にサンプリングしてデジタル信号に変換する m 個の A/D 変換器 27-1 ～ 27-m と、各 A/D 変換器 27-1 ～ 27-m の出力信号を互いに独立に記録するバッファメモリ 28-1 ～ 28-m とを有する。29 は判定及び制御用のメインコンピュータ（以下メイン CPU）、30 は高速フーリエ変換（FFT）処理部で、FFT 処理部 30 は、m 個の独立に動作する FFT チップ（IC）31-1 ～ 31-m を有する。32 は相関関数計算用マイクロコンピュータ（以下マイクロ CPU）、33 はバイスペクトル計算用マイクロコンピュータ（以下マイクロ CPU）、34-1 ～ 34-m は FFT 処理を通さない時間領域分析用マイクロ CPU であり、m 個設けられている。38 は被測回転体の機種に応じてパラメータを変更する項目設定器である。図 11 は、従来の軸受診断装置を説明する異常時原波形を示す図である。図 12 は、従来の軸受診断装置を説明する足切後の波形を示す図である。

【0003】次に、動作について説明する。マイク 21 の出力信号は、アンプ 24 を通してアナログフィルタ 26-1 ～ 26-m に並列に入力され、周波数レンジの異なる m 個のフィルタ出力が、各 A/D 変換器 27-1 ～ 27-m によってデジタル信号に変換されて、各バッファメモリ 28-1 ～ 28-m に取り込まれる。バッファメモリ 28-1 ～ 28-m のデータは、一旦メイン CPU 29 に取り込まれてから、各 FFT チップ 31-1 ～ 31-m に送られる。これにより、アナログフィルタ、A/D 変換器、バッファメモリ及び FFT チップは、例えば 26-1、27-1、28-1 及び 31-1 という如く添字の同じものからなるユニットが、特定の周波数レンジの周波数分析を行う。すなわち、m 個の周波数レンジの個々について FFT チップ 31-1 ～ 31-m が

(3)

3

独立に処理を行う。m個のFFTチップ31-1～31-mによって周波数領域に変換されたm個の周波数レンジの各データから、時間領域分析が行われる。すなわち、一方のマイクロCPU32が自己相関関数及び相互相関関数を計算し、他方のマイクロCPU33がバイスペクトルを専用に計算する。ここで、バイスペクトルの計算には時間がかかるので、専用のマイクロCPU33で処理するようにしてある。

【0004】各FFTチップ31-1～31-mからの周波数領域データと、マイクロCPU32、33からの時間領域データ（自己及び相互相関データとバイスペクトルデータ）とが、メインCPU29に送られ、あらかじめ記憶しておいたプログラムによって、特徴が抽出されて異常が判断される。すなわち、検査員の耳による判断などによって異常であるとされている回転体、また正常であるとされている回転体について、各FFTチップ31-1～31-mの周波数領域データ、マイクロCPU32の相関データ及びマイクロCPU33のバイスペクトルデータをあらかじめ収集し、異常の場合の特徴の有無、異常と判断するための基準値をあらかじめ定めておく。例えば、各FFTチップ31-1～31-mの周波数領域データについては、各周波数レンジごとに、異常のときに他の成分よりも顕著に大きい成分があるか否かを調べ、異常と判断できるレベル差を定めておく。そして、いずれかの周波数レンジで、FFTチップ31-1～31-mの周波数領域データの成分中に、他の成分よりも当該周波数レンジにあらかじめ定めた基準値、例えば30dB以上大きい成分があれば、異常ありと判断する。

【0005】また、バイスペクトルデータについては、異常のときに例えば特定の周波数領域にピークが集中しているのか、あるいは全体にピークが少ないのか等の特徴を調べ、異常と判断できるピークの分布を定めておく。そして、マイクロCPU33のバイスペクトルデータのピーク分布が、あらかじめ定めた基準値、例えばピークが特定周波数領域に集中しているという条件に合えば、異常ありと判断する。さらに、マイクロCPU32の各種相関データについても、異常のときにどのような特徴が相関データに生じるかを調べ、異常と判断できる相関値を定めておく。そして、マイクロCPU32のいずれかの相関データが該当相関データに定めた基準値より、例えば大きければ、異常ありと判断する。異常の判定により、異常の有無とその原因を知ることができる。

【0006】ところで、原動機などの調整不良時に発生する規則的だが間欠的な異常音は、上述したFFT法では判断できない。この点を考慮し、マイクロCPU34-1～34-mにより、例えばサンプリングメモリ部25のバッファメモリ28-1～28-mにあるデータ等の時間領域データを、そのまま用いて処理する。原動機などの調整不良時に発生する音、あるいは振動の波形の

4

時間領域データを詳細に分析すると、一定間隔ごとに大きなピークを含んだ波形となっている。そこで、上記一定間隔の時間の2倍以上の時間にわたって入力信号をサンプリングし、ピーク値及びその他の値を調べて特異なピークだけが残るよう足切りを行うと、特徴が極めて明確になる。図11の原波形には3つの顕著なピークが発生しているが、サンプリング値から演算によって足切りのレベルVthを求め、これによって足切りを行うと、図12の波形となる。

【0007】逆に調整された正常の原動機の場合は、際だったピークがほとんどなく、他と同じレベルであるから、足切り処理を行っても、ほとんど原波形に近い、すなわち時間に対して密度の高い波形が出てくる。従つて、あらかじめ回転体の正常時と異常時における波形を詳細に分析して足切り後の密度差を調べておき、回転体の回転速度の情報をセンサ23から得ることにより、極めて明確に且つ短時間で異常の有無を判断することができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、図10に示された従来の軸受診断装置としての回転体の異常検査装置においては、原動機などの調整不良時に発生する規則的だが間欠的な異常音の判定をFFT法ではなく、異常時に発生するピークを検出することで行っているため、小さなピークが発生した場合は、ノイズ成分などにかき消されて特徴を見いだすことができず、平均的な振幅増大も検出できないため、異常の判定が困難となる問題があった。また、原波形に発生するピーク値により異常判定を行うため、S/N比の低下により診断性能が低下する。またピーク発生の周波数帯域により異なる軸受損傷の発生位置を特定することができないという問題もあった。

【0009】この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、軸受箱から発生する振動により、軸受の正常と異常を判別し、異常が発生した場合には損傷の発生した箇所までを特定し、保守業務の省力化と異常診断の信頼性を向上させた軸受診断装置を得ることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】この発明に係わる軸受診断装置においては、回転中の軸受の振動を検出する振動検出手段と、この振動検出手段によって検出された検出信号を周波数帯域毎の時系列信号に変換する変換手段と、この変換手段によって変換された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値を抽出する抽出手段と、この抽出手段によって抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値をそれぞれ予め設定された判定値と比較する比較手段を備えたものである。また、変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号をウェーブレット変換するウェーブレット変換手段

(4)

5

であるものである。

【0011】また、変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号を短時間高速フーリエ変換する短時間高速フーリエ変換手段であるものである。さらに、変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号をウイグナー分布関数によって変換を行うウイグナー分布関数変換手段であるものである。

【0012】また、変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号の所定の周波数帯域の周波数成分を、それぞれ通過させる複数の帯域フィルタを用いて構成されたものである。また、軸受の型式、使用年数を入力する入力手段と、この入力手段によって入力された軸受の型式、使用年数により、比較手段への入力を補正する補正手段を備えたものである。

【0013】さらにまた、判定値は、正常な軸受を用いて、抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値に基づき設定されているものである。また、判定値は、損傷を有する軸受を用いて、抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値に基づき設定されているものである。

【0014】また、時系列信号のピーク波形の周期に基づき、軸受の損傷位置を特定する損傷位置特定手段を備えたものである。加えて、平均実効値と比較される判定値は、軸受の寿命を判定するように設定されているものである。

【0015】また、振動が検出される軸受は、ラジアル方向に荷重が加えられているものである。また、振動検出手段は、磁石によって軸受箱に取付けられているものである。

【0016】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 以下、この発明の実施の形態を図に基づいて説明する。図1は、この発明の実施の形態1による軸受診断装置を示す構成図である。図1において、1は診断対象としている軸受、2は振動検出手段としての加速度を抽出する振動検出器であり、軸受1を収納する軸受箱の表面に取り付け、軸受1から発生する振動（加速度）を電気信号に変換する。3は振動検出器2で変換された電気信号を增幅する增幅器、4は增幅器3からのアナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換器である。5は変換手段としてのウェーブレット変換（Wavelet Transform）演算器であり、A/D変換器4から得られるデジタル信号を各周波数帯域ごとに分解された時系列信号に変換する。

【0017】6はウェーブレット変換演算器5により分解された各周波数帯域ごとの時系列信号から平均実効値を抽出する抽出手段としての平均実効値演算器である。7は診断する軸受の型式、使用年数を外部から入力する外部入力手段としてのパラメータ設定器である。8は各型式の平均実効値の判定基準値を格納する判定値格納

(4)

6

器、パラメータ設定器7から入力された軸受の型式に対応した判定基準値を出力する。9は補正手段としての補正器であり、パラメータ設定器7から入力された軸受の使用年数に応じて判定基準値を補正し、判定値として出力する。10は比較手段としての比較器であり、診断中の軸受1の平均実効値の演算値と判定値を比較する。比較器10、判定値格納器8、補正器9は、周波数帯域ごとに設置される平均実効値演算器6にそれぞれ対応して設けられている。

【0018】11はウェーブレット変換演算器5により分解された各周波数帯域ごとの時系列信号から最大値を抽出する抽出手段としての最大値演算器である。12は各型式の最大値の判定基準値を格納する判定値格納器で、パラメータ設定器7から入力される軸受の型式に対応した判定基準値を出力する。13は補正手段としての補正器であり、パラメータ設定器7より入力された軸受の使用年数に応じて判定基準値を補正し、判定値として出力する。14は比較手段としての比較器であり、診断中の軸受1の最大値の演算値と判定値を比較する。比較器14、判定値格納器12、補正器13は、周波数帯域ごとに設置される最大値演算器11にそれぞれ対応して設けられている。15は警報器であり、周波数帯域ごとに設けられた比較器10、14からの比較結果に基づいて警報を出力する。

【0019】次に、動作について軸受診断時の流れを説明する。パラメータ設定器7から診断する軸受の型式、使用年数を入力する。判定基準値の設定時と同様、軸受1を収納した軸受箱の表面に振動検出器2を取付け、軸受箱表面に発生する振動を、振動検出器2で電気信号に変換し、増幅器3で適当な利得を得る。A/D変換器4は増幅器3からのアナログ信号をデジタル信号に変換し、ウェーブレット変換演算器5により、デジタル信号を各周波数帯域ごとの時系列信号に分離する。

【0020】各周波数帯域ごとに分離された時系列信号は、周波数帯域ごとに設定されている平均実効値演算器6ならびに最大値演算器11へ出力される。平均実効値演算器6では、各周波数帯域ごとに分離された時系列信号の平均実効値を演算し、演算結果を比較器10へ、最大値演算器11では、各周波数帯域ごとに分離された時系列信号の最大値を演算し、演算結果を比較器14へそれぞれ出力する。比較器10では、診断中の軸受1の平均実効値の演算値と判定値を比較する。判定値は、診断中の軸受1の型式の応じた判定基準値を判定値格納器8に格納されている中から選択し、使用年数から求まる所定の係数を乗じて、補正をかけた値である。異常の判定は、あらかじめ設定された所定の関係と照合して、所定の関係に収まっているれば、正常であることを警報器15に出力し、所定の条件を超えていれば異常として警報器15に出力し、警報器15より警報を発する。

【0021】比較器14では、診断する軸受1の最大値

(5)

7

の演算値と判定値を比較する。判定値は、診断する軸受1の型式に応じた判定基準値を判定値格納器12に格納されている中から選択し、使用年数から求まる所定の係数を乗じて、補正をかけた値である。異常の判定は、あらかじめ設定された所定の関係と照合して、所定の関係に収まつていれば、正常であることを警報器15に出力し、所定の条件を超えていれば異常として警報器15に出力し、警報器15より警報を発する。

【0022】ここで、軸受1の異常判定のために周波数帯域ごとの平均実効値と最大値を求める理由を、軸受に生じる各損傷の振動の特徴から説明する。軸受の損傷を大別すれば、軌道面、転動体面の全周にわたる損傷と、それらの面における円周局部の損傷の2つに分けることができる。図2は、正常な軸受の振動波形の一例を示す図である。図3は、軌道面全周にわたる損傷を起した軸受の振動波形の一例を示す図である。図4は、軌道面局部に損傷を起した軸受の振動波形の一例を示す図である。

【0023】まず、面の全周にわたる損傷について説明する。損傷の代表例には磨耗や電食がある。振動波形は、正常な軸受の振動波形と同じランダムな性質を持ち、図3のように全時間を通じて振幅だけが大きくなる。よって平均実効値による判定が有効である。また面における円周局部の損傷の場合は、回転により局部の損傷が他の箇所と接触する瞬間に大きな振動を生じるため、図4のように等間隔のパルスを持つ波形になる。このような場合、ピークの振幅は大きいが、ピークの持続時間が短いため、時間に対して平均するとピークの有無がほとんどなく、実効値では適切な判定ができない。よってピークの大きさを評価する最大値が有効である。さらに波形のパルスの間隔を測定すれば、軸受の寸法諸元と回転数の条件から、計算によって損傷の位置を特定することができる。

【0024】実施の形態1によれば、平均実効値と最大値を周波数帯域毎に分解した時系列波形から抽出することにより、軸受診断に関係ない不要な外部振動やノイズなどの影響を除いて軸受の診断を行うことができる。また、ウェーブレット変換演算器を用いることにより、各周波数帯域毎の時系列信号に分離する際の特性を向上させることができる。

【0025】実施の形態2、診断のための判定基準値の設定は、正常な軸受から発生する振動の周波数帯域ごとの統計分布を型式、使用年数毎に取り、その結果に基づいて設定することができる。判定基準値を設定するときの流れを説明する。図5は、この発明の実施の形態2による軸受診断装置を示す構成図である。図5において、1～15は図1におけるものと同一のものである。図6は、軸受の使用年数と平均実効値の関係を示す図である。

【0026】図5では、判定基準値設定時の動作の流れ

8

を点線で示す。軸受1を収納した軸受箱の表面に振動検出器2を取付ける。軸受は正常な軸受を使用する。正常な軸受とは、新品及び使用済みのものは所定の検査により損傷がないことを確認できたものとする。軸受1にラジアル方向の負荷がかかり軸受箱表面に発生する転動体通過による振動信号を振動検出器2により電気信号に変換し、増幅器3により適当な利得を得る。A/D変換器4は増幅器3からのアナログ信号をデジタル信号に変換する。ウェーブレット変換演算器5は、基底関数(ウェーブレット関数)を拡大あるいは縮小することにより、変換されたデジタル信号を各周波数帯域ごとの時系列信号に分離する。この際に、測定波形や観測したい現象に合わせて、適切な基底関数を選択することにより、周波数の分離特性や判定の信頼性を向上させることができる。

【0027】ウェーブレット変換演算器5により各周波数帯域ごとに分離された時系列信号は、周波数帯域ごとに設置している平均実効値演算器6ならびに最大演算器11へ出力される。平均実効値演算器6は時系列信号に含まれるエネルギー成分の分布の平均実効値を演算し、演算値として判定値格納器8へ、最大値演算器11は時系列信号に含まれるエネルギー成分の分布の最大値を演算し、演算値として判定値格納器12へ出力する。この際、パラメータ設定器7により、軸受箱内に設置した軸受の型式、使用年数を入力し、平均実効値演算器6、最大値演算器11から得られた各々の演算値と、軸受の型式、使用年数のパラメータを合わせて保存しておく。

【0028】以上の流れの処理を、診断対象とする軸受の各型式ごとに、複数個の軸受を使用して行う。ここで各型式ごとに収集するデータ数を増し、データのばらつきと再現性を確認することにより、軸受異常の判定精度を高めることができる。平均実効値の統計結果から、同一型式の軸受での使用年数の経過による数値レベルの変化を把握する。軸受は経年による疲れなどにより、軌道面の全周が摩耗し、消耗することから、使用を重ねるにつれて平均実効値の数値レベルが上昇する。各型式の軸受ごとに、使用年数の経過による数値レベルの上昇度合を確認する。図6は、使用年数と平均実効値レベルの関係を示したものである。

【0029】新品状態の軸受の平均実効値を判定基準値として、各型式ごとに判定値格納器8に格納する。また使用年数の経過によるレベルの上昇度合の関係より得た値を補正值として補正器9に格納する。例えば、ある型式の軸受の新品状態での平均実効値が1.2であり、同じ型式の使用年数3年の軸受の平均実効値が1.5であった場合、使用年数3年の軸受では、補正值を $1.5 - 1.2 = 0.3$ として設定し、補正器9に格納する。最大値の統計結果から、各型式の軸受での使用年数の経過による数値レベルの変化を把握する。平均実効値と同様、各型式の軸受ごとに、使用年数の経過による数値レ

(6)

9

ベルの上昇度合を確認する。新品状態の軸受の最大値に、損傷により増加すると思われるレベルを乗じて判定基準値として、各型式ごとに判定値格納器12に格納する。また使用年数の経過によるレベルの上昇度合の関係より得た値を補正値として補正器13に格納する。使用初期の軸受に発生した電食などの軌道面、転動体面全周に突発的に現れた損傷と、経年変化により生じた摩擦などの消耗では、現象として同じように現れるため、振動波形だけの条件から判別することができない。正常な軸受のデータを判定基準設定のための基準値として使用し、使用年数をパラメータとして入力することにより、平均実効値レベルが上昇した場合に、使用初期の異常によるレベル変化か、経年によるレベル変化かを判別することができ、軸受の交換時期を判定するのに役立つ。

【0030】実施の形態2によれば、正常な軸受から発生する振動により、周波数帯域毎に平均実効値、最大値の統計分布を取り、それに基づいて判定値を設定することにより、対象物に即した判定値の設定が容易となり、診断装置の操作性を向上させることができる。

【0031】実施の形態3、実施の形態2では、診断に必要な最大値の判定基準値を設定するために、正常な軸受を使用してデータ収集を行ったが、実施の形態3では、判定基準値を設定するために円周局部に損傷を起した軸受を使用して最大値を求めるようにしている。このときに外輪・内輪・転動体などの各部の損傷条件においてデータを収集する。使用する軸受の損傷の程度は、診断対象とする各型式において、異常判定が必要な程度の損傷の大きさである。

【0032】各型式の軸受ごとに、損傷を起した軸受と正常な軸受での最大値の数値レベル差を確認し、軸受が損傷を起したときに発生する最大値の数値レベルを把握する。そして、正常な軸受の数値に対して、損傷を起した軸受の数値が何倍の大きさになっているかを見極め判定基準値として格納する。

【0033】実施の形態3によれば、実際に損傷を起した軸受によるデータから判定値を設定することにより、円周局部に損傷を起した軸受を異常判定する診断精度の向上ができると共に、損傷の大きさ程度ごとのデータをあらかじめ収集しておくことにより、診断中の軸受が最大値により異常判定されたときに、損傷の大きさも併せて把握することができる。

【0034】実施の形態4、実施の形態1では、軸受の異常判定の1つとして平均実効値を判定値として採用しているが、実施の形態4は、この平均実効値のレベル変化を監視することにより、軸受の寿命を予測するようしている。軸受振動は、経年により平均実効値レベルが上昇する。軸受の使用初期から寿命に到達するまでの年ごとの平均実効値レベルをあらかじめ調査しておく。その結果から軸受寿命前の交換時期の平均実効値レベルを、軸受交換を判定するための判定値として設定するこ

10

とにより、軸受の交換を行うことができる。この結果、軸受が寿命に到達していないにもかかわらず、軸受の使用年数により定期的に交換することなくし、まだ使用可能な軸受を、引き続き使用することが可能となり、交換部品のコストを低減することができる。

【0035】実施の形態4によれば、経年変化により増加する軸受の平均実効値レベルの変化の様子を統計的に監視することにより、軸受の寿命を予測することができる。保守の省力化を図ることができる。

【0036】実施の形態5、実施の形態1では、診断中の演算値が最大値を判定する所定のレベルを超えていた場合に警報として出力していたが、実施の形態5は、さらに診断中の演算値が最大値を判定する所定のレベルを超えていた場合には、パルス的なピークの振動が間欠的に発生していないか確認し、そのパルスの発生周期を検出することにより、軸受の損傷発生位置を特定する損傷位置特定手段を有する。最大値の周波数帯域に現れるパルス的なピーク波形の周期性と軸受の寸法諸元から計算により求められる損傷発生箇所との相関関係をあらかじめ設定しておくことで、そこに現れているパルス的なピーク波形発生の周期性と照合することにより、軸受の損傷発生位置を特定し、交換部品の発注作業の効率化を行うことができる。

【0037】実施の形態5によれば、軸受の損傷発生位置毎に異なる振動の特徴周波数帯域での、ピーク発生の周期性を予め設定しておくことで、警報として出力された最大値の周波数帯域でのピーク波形発生の周期性から軸受の損傷発生位置を判定することができる。

【0038】実施の形態6、実施の形態6は、実施の形態1での軸受回転時に、軸受に対してラジアル方向の荷重を加えることにより、異常軸受の検出精度を向上させる。軸受に対してラジアル方向の荷重を加えると、ラジアル方向の真下に転動体が来たときには、1つの転動体で荷重を受け、転動体がラジアル方向の真下から移動した場合には2つの転動体で荷重を受けることになるため、各転動体に加わる力が異なる。つまり軸が回転すると、転動体がラジアル方向の位置を通過する周期の振動が発生する。この振動を転動体通過振動という。この振動は軸受に加わる荷重が大きくなることによって増幅される。

【0039】実施の形態6によれば、ラジアル方向に荷重を加えることによって、軸受の損傷により発生する振動が顕著になり、振動の発生が小さい微小な損傷の場合にも、判定精度を向上させることができる。

【0040】実施の形態7、実施の形態7は、実施の形態1での軸受箱表面への振動検出器の取付けに磁石を使用し、磁石と軸受箱表面との接触共振を、診断のための判定に使用することにより、異常軸受の検出精度を向上させるものである。軸受箱表面への振動検出器の取り付けに磁石を使用すると、振動検出器により検出される振

50

(7)

11

動成分に、軸受箱と磁石の接触による共振成分が含まれることになる。この共振成分は、正常な軸受の場合にも振動として発生するが、軸受に損傷が起り異常な振動が発生した場合には、さらにこの共振成分が増幅されて表れてくる。

【0041】実施の形態7によれば、この共振による振動成分を監視することにより、軸受の特徴振動周波数帯域に振動の影響が表れないような小さな損傷も明確に捕らえることができ、軸受の異常判定精度を向上させることができる。

【0042】実施の形態8。実施の形態1では、各周波数毎の平均実効値、最大値を求めるのに、ウェーブレット変換を用いていたが、短時間高速フーリエ変換を用いてもよい。実施の形態8では、短時間高速フーリエ変換を用いた場合について、図7に基づいて説明する。この実施の形態8においては、短時間FFT演算器を設け、各周波数帯域毎の時系列信号を求めるようにしたものであり、その他の動作は、実施の形態1と同様である。

【0043】図7は、この発明の実施の形態8による軸受診断装置を示す構成図である。図7において、1～4、6～15は図1におけるものと同一のものである。16は変換手段として短時間FFT (SFFT: Short-Time Fourier-Transform) 演算器であり、各周波数帯域毎の時系列信号を求めるものである。このようにフーリエ変換器である短時間FFT演算器16を設けて、各周波数帯域毎の時系列信号を求ることにより、周波数分解能を向上させることができる。

【0044】実施の形態8によれば、短時間FFTの優れた分解能を利用して、ピークが周期性を持って間欠的に発生する軸受局部の損傷においても、診断の信頼性を向上させることができる。

【0045】実施の形態9。実施の形態8では、各周波数毎の平均実効値、最大値を求めるのに、短時間フーリエ変換を用いていたが、ウェーブレット変換を用いてもよい。実施の形態9では、ウェーブレット変換を用いた場合について、図8に基づいて説明する。この実施の形態9においては、ウェーブレット変換による演算器を設け、各周波数帯域毎の時系列信号を求めるようにしたものであり、その他の動作は、実施の形態8と同様である。

【0046】図8は、この発明の実施の形態9による軸受診断装置を示す構成図である。図8において、1～4、6～15は図1におけるものと同一のものである。17は変換手段としてウェーブレット変換演算器であり、各周波数帯域毎の時系列信号を求めるものである。ウェーブレット変換では窓関数によるデータ長の制限を受けず、周波数分解能が低下するという問題はない。スペクトル分解能はデータ長によって決まり、全データ長のフーリエ変換と同程度の分解能が与えられる。また時

12

間分解能は、サンプリング間隔と同程度となる。

【0047】実施の形態9によれば、ウェーブレット変換による優れた分解能を利用して、ピークが周期性を持って間欠的に発生する軸受局部の損傷においても、診断の信頼性を向上させることができる。

【0048】実施の形態10。実施の形態9では、各周波数毎の平均実効値、最大値を求めるのに、ウェーブレット変換を用いていたが、所定の周波数帯域の周波数成分を通過させる複数の帯域フィルタを用いてもよい。実施の形態10では、所定の周波数帯域の周波数成分を通過させる複数の帯域フィルタとして、デジタルBPFを用いた場合について、図9に基づいて説明する。

【0049】図9は、この発明の実施の形態10による軸受診断装置を示す構成図である。図9において、1～4、6～15は図1におけるものと同一のものである。18は信号を各周波数帯域の時系列信号に変換する変換手段としてのデジタルBPFである。デジタルBPF18は、例えば、ある軸受の異常振動の特徴周波数帯域が800～8k [Hz] であるような場合、この周波数帯域を網羅するように500～16k [Hz] までの5オクターブ分を対象とし、1/3オクターブ毎の分解能を与えるとして全16バンド分設ける。19はデジタルBPF18からの交流信号を整流する整流器である。

【0050】実施の形態10によれば、各周波数毎の時系列信号を求める手法として、デジタルBPF18を用いることにより、同じ帯域フィルタであるアナログBPFとは異なり、ソフトウェアにより処理できるため、フィルタ特性の変更や診断する周波数帯域の追加などに柔軟に対応することが可能である。

【0051】

【発明の効果】この発明は、以上説明したように構成されているので、以下に示すような効果を奏する。回転中の軸受の振動を検出する振動検出手段と、この振動検出手段によって検出された検出信号を周波数帯域毎の時系列信号に変換する変換手段と、この変換手段によって変換された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値を抽出する抽出手段と、この抽出手段によって抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値をそれぞれ予め設定された判定値と比較する比較手段を備えたので、時系列信号の最大値及び平均実効値により、小さい異常を検出することができる。また、変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号をウェーブレット変換するウェーブレット変換手段であるので、周波数帯域毎の時系列信号の分離の特性を向上させることができる。

【0052】また、変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号を短時間高速フーリエ変換する短時間高速フーリエ変換手段であるので、周波数の分解能を向上させることができる。さらに、変換手段は、振動検

(8)

13

出手段によって検出された検出信号をウイグナー分布関数によって変換を行うウイグナー分布関数変換手段であるので、時間軸の分解能を向上させることができる。

【0053】また、変換手段は、振動検出手段によって検出された検出信号の所定の周波数帯域の周波数成分を、それぞれ通過させる複数の帯域フィルタを用いて構成されたので、デジタルBPFの場合は条件の変更に対応させることができ、アナログBPFの場合は処理を高速に行うことができる。また、軸受の型式、使用年数を入力する入力手段と、この入力手段によって入力された軸受の型式、使用年数により、比較手段への入力を補正する補正手段を備えたので、軸受の型式、使用年数により補正するので、より信頼性の高い診断を行うことができる。

【0054】さらにまた、判定値は、正常な軸受を用いて、抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値に基づき設定されているので、対象物に即した判定値の設定が容易になる。また、判定値は、損傷を有する軸受を用いて、抽出された周波数帯域毎の時系列信号の最大値及び平均実効値に基づき設定されているので、判定を必要とする損傷の程度に応じた判定値を設定することができる。

【0055】また、時系列信号のピーク波形の周期に基づき、軸受の損傷位置を特定する損傷位置特定手段を備えたので、軸受の損傷位置を特定することができる。加えて、平均実効値と比較される判定値は、軸受の寿命を判定するように設定されているので、容易に軸受の寿命を知ることができる。

【0056】また、振動が検出される軸受は、ラジアル方向に荷重が加えられているので、異常な振動成分を增幅させて、異常の判定精度を向上させることができる。また、振動検出手段は、磁石によって軸受箱に取付けられているので、磁石と軸受箱の接触により発生する接触共振により、異常の判定精度を向上させることができる。

(8)

14

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態1による軸受診断装置を示す構成図である。

【図2】正常な軸受の振動波形の一例を示す図である。

【図3】軌道面全周にわたる損傷を起した軸受の振動波形の一例を示す図である。

【図4】軌道面局部に損傷を起した軸受の振動波形の一例を示す図である。

【図5】この発明の実施の形態2による軸受診断装置を示す構成図である。

【図6】軸受の使用年数と平均実効値の関係を示す図である。

【図7】この発明の実施の形態8による軸受診断装置を示す構成図である。

【図8】この発明の実施の形態9による軸受診断装置を示す構成図である。

【図9】この発明の実施の形態10による軸受診断装置を示す構成図である。

【図10】従来の軸受診断装置を示す構成図である。

【図11】従来の軸受診断装置を説明する異常時原波形を示す図である。

【図12】従来の軸受診断装置を説明する足切後の波形を示す図である。

【符号の説明】

1 軸受、2 振動検出器、3 増幅器、4 A/D変換器、5 ウエーブレット変換演算器、6 平均実効値演算器、7 パラメータ設定器、8 判定値格納器（平均実効値用）、9 補正器（平均実効値用）、10 比較器（平均実効値用）、11 最大値演算器、12 判定値格納器（最大値用）、13 補正器（最大値）、14 比較器（最大値用）、15 警報器、16 短時間FFT演算器、17 ウィグナー分布関数演算器、18 デジタルBPF、19 整流器。

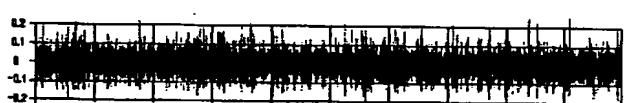
【図2】



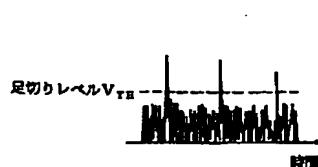
【図4】



【図3】



【図11】

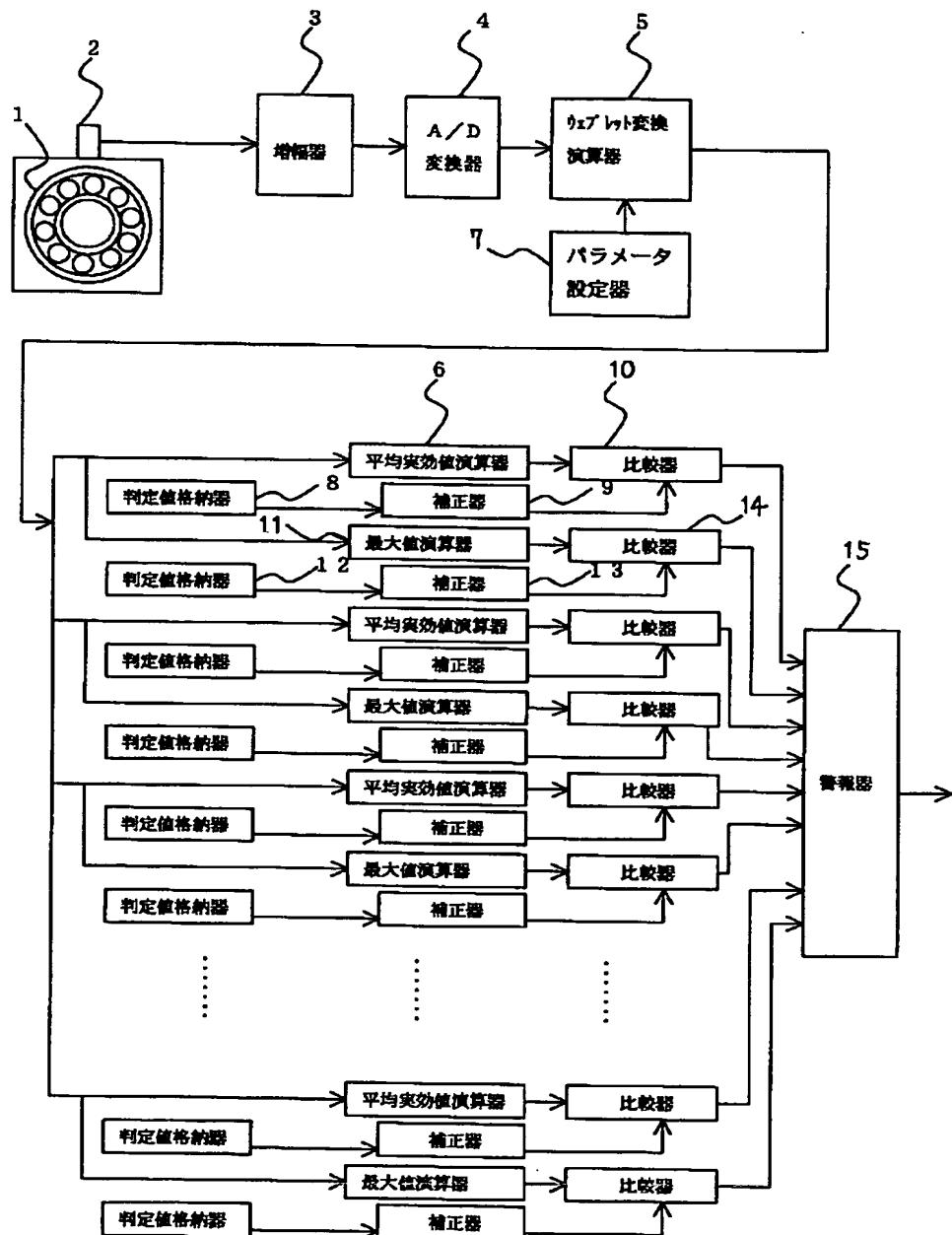


【図12】



(9)

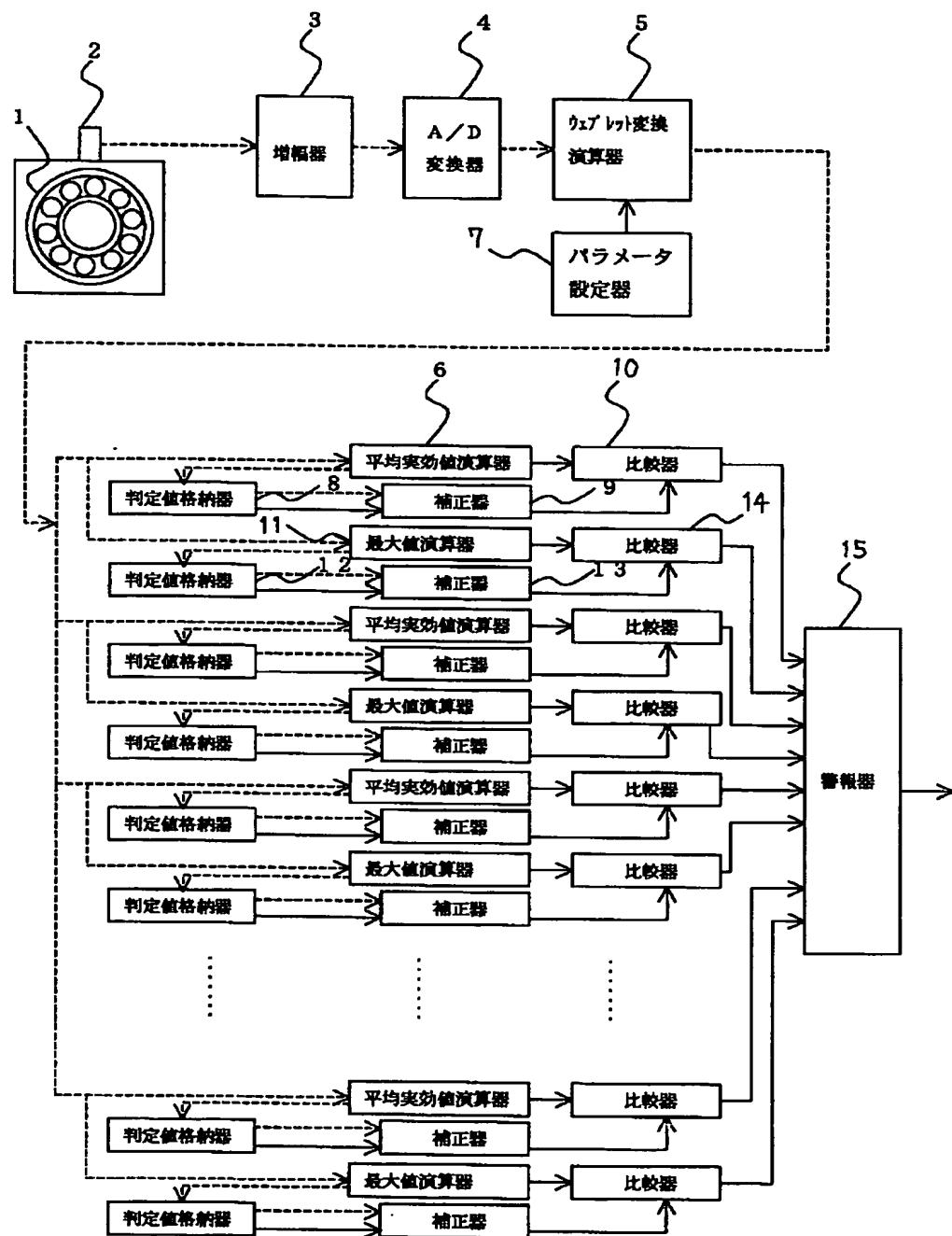
【図1】



1 : 軸受	5 : ウエーブレット変換演算器	9、13 : 補正器
2 : 振動検出器	6 : 平均実効値演算器	10、14 : 比較器
3 : 増幅器	7 : パラメータ設定器	11 : 最大値演算器
4 : A/D変換器	8、12 : 判定値格納器	15 : 警報器

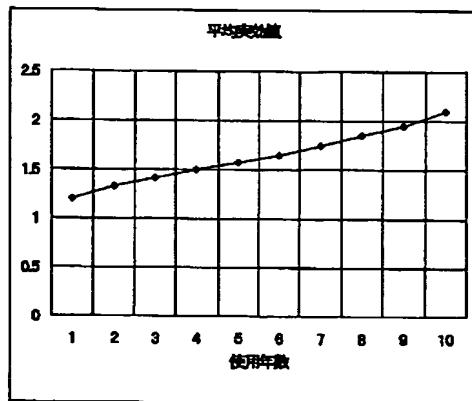
(10)

【図5】



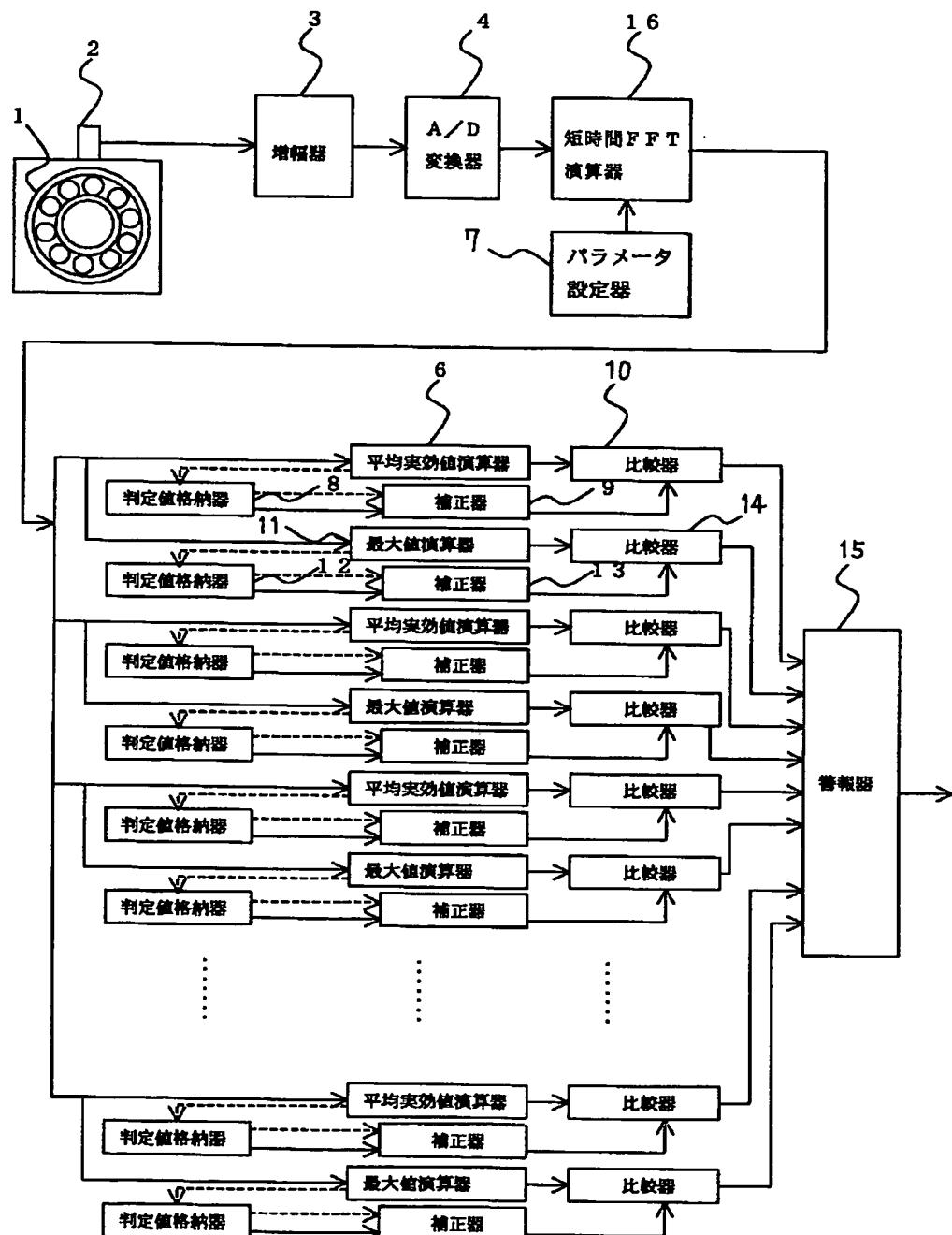
(11)

【図6】



(12)

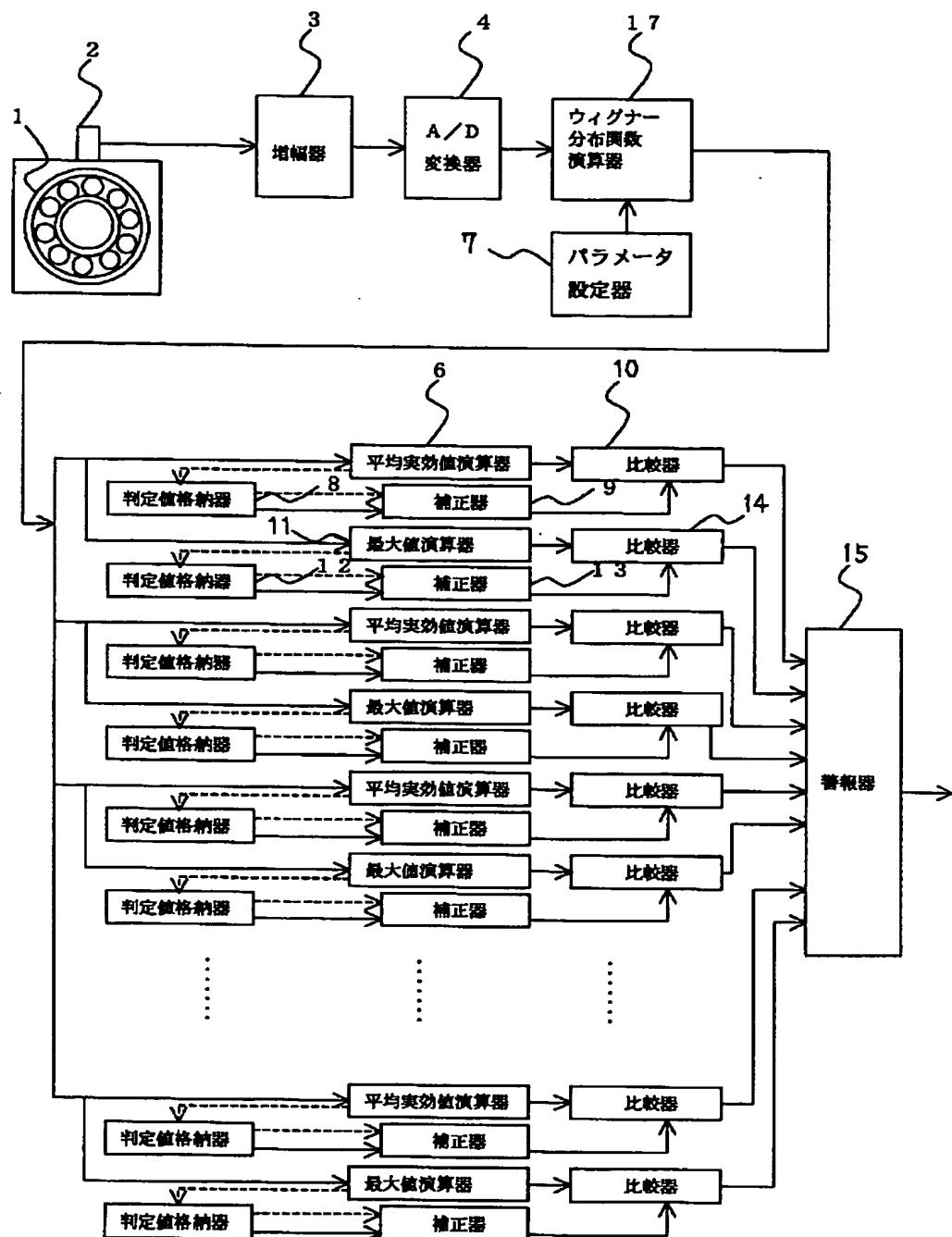
【図7】



16 : 短時間FFT演算器

(13)

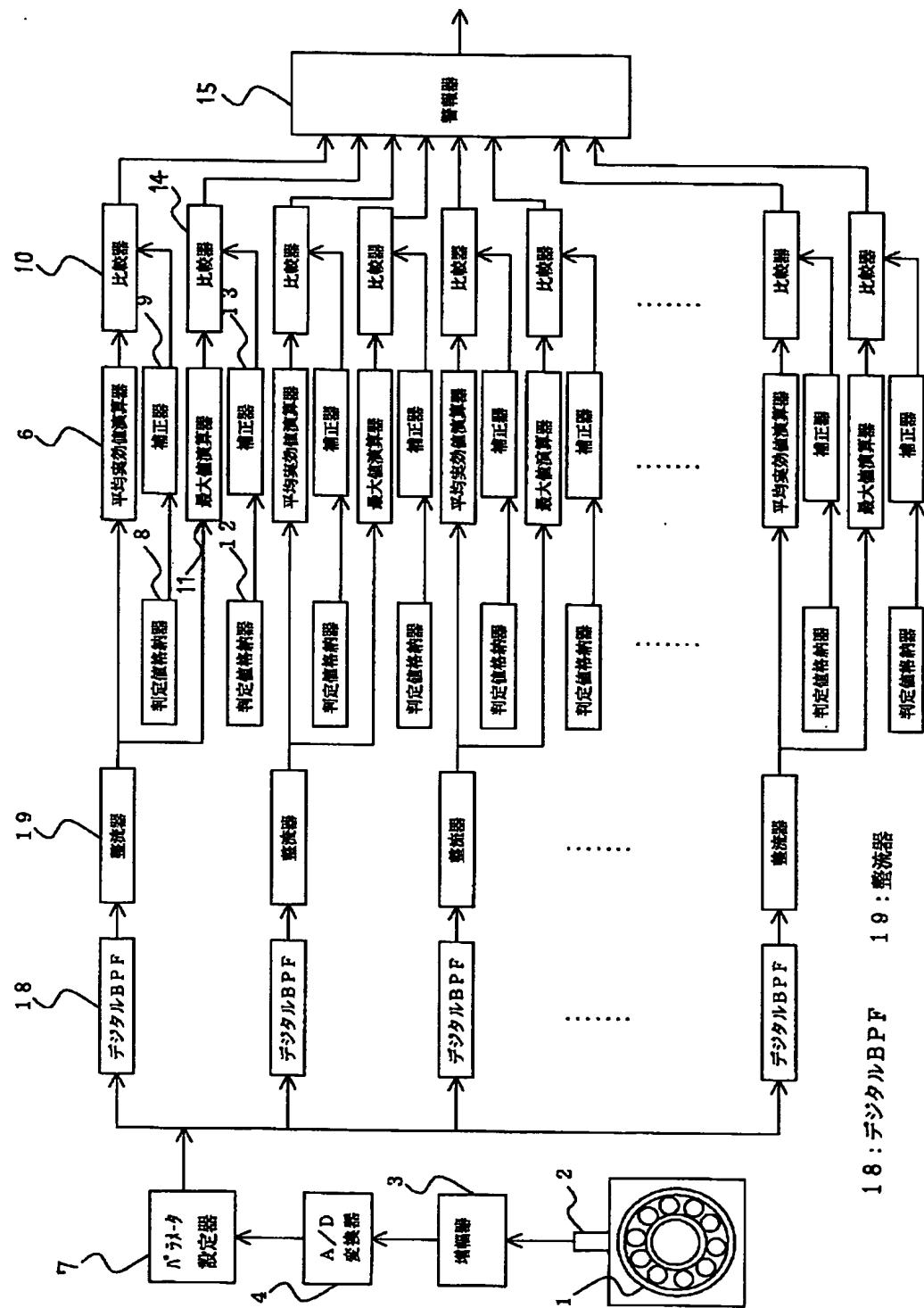
【図8】



17 : ウィグナー分布関数演算器

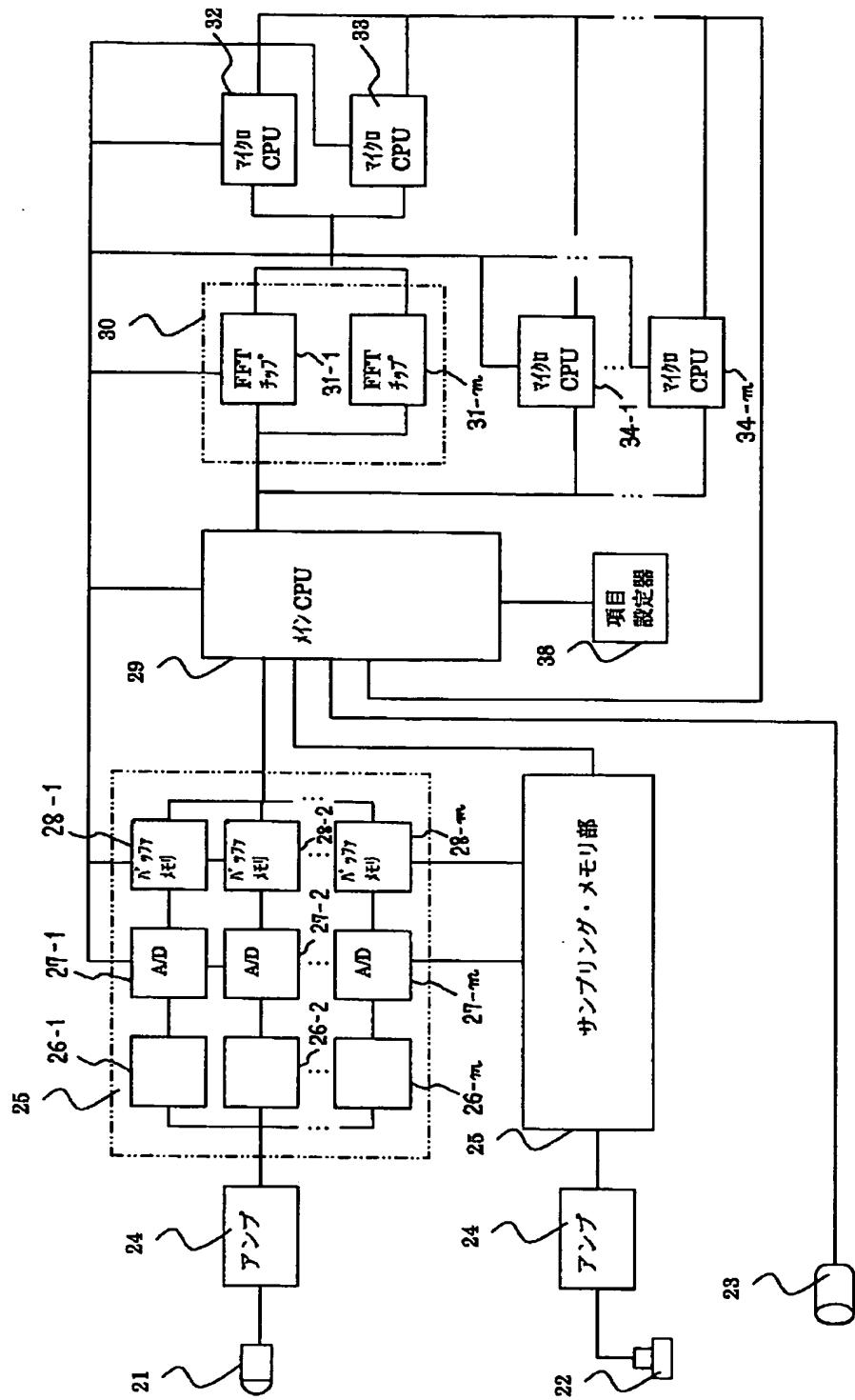
(14)

【図9】



(15)

【図10】



(16)

フロントページの続き

Fターム (参考) 2G024 AC00 BA11 CA09 CA13 FA01
FA06
2G064 AA17 AB22 CC43
3J101 AA02 AA62 FA24 GA41

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINEs OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.